

도시철도차량 부품 개발품의 성능평가를 위한 현차시험 방안 연구

A Study on Test Framework for Performance Evaluation of Urban Railway

Rolling stock Development Products

서경수*[†], 김영규*, 노제택*, 최광석**^{*}, 김인호***Kyoung-soo Seo*[†], Young-gyu Kim*, Jae-teak Noh*, Kwang-suck Choi**^{*}, In-ho Kim***

초 록 도시철도차량에 적용되는 각종 부품 및 시스템의 개발에 있어 개발 목표에 따른 기능 및 성능이 목표와 일치하게 구현 되었는지를 확인하기 위한 현차 성능평가는 개발의 성공확인, 안전성, 신뢰성 파악 뿐만 아니라 개발품의 실용화를 위해서도 반드시 필요한 과정이다. 본 논문에서는 도시철도차량에 적용되는 연구 개발 결과물의 효과적인 성능평가를 위해 현차시험 방안 및 여러 고려사항을 종합한 현차시험 운영 프레임워크를 제시한다. 본 논문에서 제시된 현차시험 운영 프레임워크는 현차시험 요구조건의 수집 및 분석, 평가항목의 구성, 개발품의 차량적용, 구내시운전 및 본선시운전 그리고 안전관리 등 도시철도차량용 부품 및 시스템 개발품의 성능시험 전반을 고려하고 있으며 본 연구를 통해 개발 결과물의 현차시험 운영에 대한 시사점을 제시하고자 한다.

주요어 : 철도차량, 성능평가, 현차시험, 안전관리, 시운전

1. 서 론

도시철도차량에 사용되는 시스템 및 부품의 개발에 있어 결과물의 기능 및 성능이 목표 수준에 도달하였는지 확인하기 위한 성능평가는 연구개발의 성공확인 뿐만 아니라 실용화를 위해서도 반드시 필요한 과정이다.

최근 정보통신기술의 발전에 따라 도시철도차량을 포함한 철도차량의 성능 향상과 운영 및 서비스 개선을 위한 다양한 연구개발이 활발하게 이루어 지면서 이들 연구 결과물에 대한 현차시험을 통한 성능평가 수요도 커지고 있다.

성능평가를 위한 현차시험은 개발주체, 성능평가 대상차량, 현차시험 요구사항, 테스트베드 운영기관, 개발과제의 성격 등에 따라 상이하게 이루어지고 있으며 개발품 차량

적용시 여러 불확실성에 따른 인적 물적 안전상의 위협, 철도안전법 및 기술기준 등 관련 법규의 적용여부, 테스트베드 인프라 운영으로 인한 기존 차량운영 기능과의 간섭 및 방해, 목표성능의 효과적인 평가를 위한 검사항목 및 절차 설정 등 다양한 고려사항에 대한 체계적인 검토와 안전한 현차시험 운영 및 관리를 위한 방안이 필요한 상황이다.

도시철도차량을 포함하여 철도차량에 적용되는 개발품의 성능평가를 위한 현차시험에 대한 연구는 종합시험선로(김대상, 2011; 김태욱 외, 2011; 진우정 외, 2015), 고속철도(최요철 외, 2006; 엄기영 외, 2012; 엄기영 외, 2013), 철도차량(정홍채 외, 2002; 서보성 외, 2015), 도시철도(이수길 외, 2003; 온정근, 2012; 윤학선 외, 2013; 서경수 외, 2016; 서경수 외, 2017), 차세대 전동차(김영규 외, 2010), 경량전철(정종덕 외, 2000; 최권희 외, 2010) 등 철도차량 각 분야에서 활발하게 연구되고 있으나 도시철도차량에

† 교신저자: 서울교통공사 도시철도연구원
(lifetide@seoulmetro.co.kr)

* 서울교통공사 도시철도연구원

** 서울교통공사 군자차량사업소

*** 서울교통공사 차량정비처

적용되는 연구개발품의 성능평가를 위한 고려사항, 안전관리, 현차시험 절차등에 대한 종합적인 프레임워크를 제시한 연구는 없는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 도시철도차량에 적용되는 연구개발 결과물의 성능평가를 위한 사전준비, 요구사항, 고려사항 및 절차 등을 종합한 현차시험 운영 프레임워크를 제시한다.

본 논문에서 제시된 현차시험 운영 프레임워크는 현차시험 요구조건 수집 및 분석, 평가항목의 구성, 개발품의 차량적용, 구내시운전 및 본선시운전 그리고 안전관리 등 도시철도차량 부품 및 시스템 개발품 성능시험 전반을 고려하고 있으며 본 연구를 통해 효과적인 성능시험 및 안전관리 등 현차시험 전반에 대한 시사점을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 도시철도 연구개발품 성능평가

도시철도 차량에 적용되는 연구개발 결과물의 성능평가의 목적은 연구계획서 상의 목표로 하는 성능을 개발 성과물에서 실현되었는지를 확인하기 위한 것으로 측정, 검사, 시험 등의 방법으로 성능평가를 할 수 있다.

성능평가에 있어서 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- 1) 연구개발 목표에 따른 적합한 평가 방법의 결정
- 2) 개발 진행 단계에 따른 단계별 평가방법 적용 방안
- 3) 연구개발 성과물의 정의에 따른 성능평가 검증 방안
- 4) 연구개발 결과물의 상용화를 위한 요구 성능의 검증 방안

2.2 성능평가를 위한 현차시험

성능평가를 위한 현차시험은 연구개발 과정의 후반부 과정으로 개발 결과물의 성능을 최종적으로 현차에서 평가하는 것으로 개발 목표의 달성정도를 효과적으로 평가하기 위한 현차시험 방안 수립과 함께 새로운 개발품이나 시스템의 현차 적용에

따른 예상하지 못한 상황에 대한 대비와 현차 시험시의 안전확보 방안 등 다양한 측면을 고려해야 한다.

연구개발품의 현차시험을 통한 성능평가에 있어 사전 준비사항은 다음과 같다.

- 1) 현차시험 요구사항의 수집 및 분석
- 2) 요구사항에 따른 시험선 대상 운영노선, 차량, 차량기지 등 시험인프라의 선정
- 3) 시험 인프라 선정결과에 따른 시험 인프라 구축 계획 수립
- 4) 현차시험 참여기관별 역할 분담 및 정의
- 5) 시험 인프라 운영 인력의 책임 및 역할 정의
- 6) 시험 인프라의 운영 계획 수립
- 7) 시험 인프라 운영시의 안전관리 계획 수립
- 8) 현차시험 평가후의 시험 인프라 복구 방안의 수립

2.3 현차시험 고려사항

개발품의 현차시험에 있어 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- 1) **적용규격** : 연구개발계획서에 기술된 개발품에 적용되는 관련 규격이 개발품에 적합하게 반영되었는지를 검사할 수 있도록 현차시험 항목이 구성되어야 한다.
- 2) **설계 적합성** : 개발품의 개발목표에 따른 개념설계의 인터페이스, 기능, 성능 등의 요구사항이 설계에 적합하게 반영되었는지 현차시험을 통해 입증할 수 있도록 현차시험 항목과 방법이 구성되어야 한다.
- 3) **설계 합치성** : 설계에 의해 구현되어야 할 기능들이 개발품에 적합하게 반영되었는지를 현차시험을 통해 검증될 수 있도록 하여야 한다.
- 4) **인프라 구축 및 운영** : 현차시험을 위한 시험 인프라 구성 시 2)와 3)에서 기술한 고려사항을 적합하게 평가할 수 있도록 시험 인프라의 구성 및 운영이 계획

되어야 한다.

- 5) **성능평가와 적합성** : 현차시험을 통한 성능평가 항목과 2)와 3)에서 기술한 적합성 고려사항이 서로 상충되지 않도록 평가 및 점검항목이 구성되어야 한다.
- 6) **용어** : 개발 결과물에 있어 기준에 존재하지 않았던 모듈이나 부품이 개발되었을 경우 관련 용어에 대한 정의가 사전에 이루어져야 하며 기존 차량에 사용하던 용어와 혼선이 없어야 한다.
- 7) **신기능** : 기준에 존재하지 않았던 개발품에 구현된 기능에 대한 정의와 사용법, 효과 등에 대해 명확하게 기술되어 현차시험시 이를 효과적으로 평가할 수 있어야 한다.
- 8) **안전성** : 개발 결과물인 개발품 및 시스템이 새롭게 차량에 적용되었을 때 예상하지 못했던 위험과 불안정 상황이 발생할 수 있는지에 대한 충분한 검증이 현차시험을 통해 이루어져야 하며 이것은 개발품이나 시스템 자체뿐만 아니라 개발 결과물의 제작과 기능구현을 위해 사용된 재료, 가공법, 처리 등이 인적, 물적 안전에 영향을 주지 않는지에 대한 평가도 포함되어야 한다.

2.4 현차시험 안전관리

현차시험시 안전관리의 원칙은 현차시험시 발생할 수 있는 예측되는 위험의 대비 또는 사고의 예방을 위한 사전계획, 관련기관 및 운영요원의 역할분담 및 정의, 사고발생시의 대처 및 처리에 대한 사전 계획 등을 포괄하여야 한다.

현차시험 안전관리의 고려사항은 다음과 같다.

- 1) 개발결과물 및 현차시험에 적용되는 관련 법규 및 규정에 의한 현차시험 계획수립
- 2) 개발결과물 또는 시스템의 안전성을 관련 기술기준에 의해 사전 평가 후 현차시험시행(개발품에 적용되는 필수 요구사항 및 필수 안전 요구사항 충족 여부의 사전 평가)

- 필수 요구사항 : 안전, 성능, 인터페이스, 운용 및 유지관리, 운용한계 등
 - 필수 안전 요구사항 : 차량한계, 주행 안전, 충돌안전, 화재안전, 전기안전, 위험도 분석 등
- 3) 테스트베드 인프라 운영기관의 안전관리 체계에 따른 현차시험 관리 및 운영
 - 4) 현차시험 관련 기관 및 조직간 시험인력, 장비, 시설, 운영절차에 대한 유기적 체계 구축
 - 5) 현차시험 관련 기관 및 담당자별 역할 및 책임, 절차, 준비, 관리 등에 대한 명확한 사전 정의
 - 6) 관제센터, 차량본부, 차량사업소 등 유관 부서와 안전 관리체계에 의한 현차시험 협의, 계획 수립 및 시행
 - 7) 현차시험 관리 및 운영 체계의 문서화로 안전 프로세스의 사전 구축
 - 8) 현차시험 사전 안전관리활동계획서 수립 및 시행
 - 9) 작업자 및 관련 직원에 대한 사전 안전 교육 시행
 - 10) 현차시험 중 이례상황에 대비한 대응 시나리오 수립 및 사전 훈련 시행

위의 고려사항을 종합하여 현차시험을 위한 테스트베드 인프라를 운영하는 운영기관과 개발기관은 다음과 같은 현차시험 운영관리 계획 및 안전관리계획을 수립하여야 한다.

- 1) 현차시험 목적 및 범위, 방법, 절차 등에 대한 명확한 정의와 문서화
- 2) 불안전요인 사전 파악 및 사고예방을 위한 안전관리 체계 구축
- 3) 현차시험 운영관리계획서 수립
 - 현차시험 수행체계 및 계획, 운영조직 및 담당자의 역할
 - 시험열차 운행계획 및 평가계획
 - 시험열차 차량관리 계획 등
- 4) 현차시험 안전관리계획서 수립

- 안전관리 조직구성
- 운행안전 및 차량안전 관리
- 이례상황 발생시 조치 계획
- 사고복구 및 처리절차 등

2.5 현차시험 운영 프레임워크

상기에서 논의한 고려사항 및 절차에 따른 도시철도 차량의 개발품 현차시험 운영 프레임워크는 Fig.1과 같다.



Figure. 1 framework for test operation

개발품 현차시험은 현차시험 요구사항 수집 및 분석을 시작으로 개발품의 공인기관 시험, 개발부품의 차량적용 및 기능시험, 현차 정적 성능평가, 현차 구내시운전 성능평가, 현차 본선시운전 성능평가, 보완작업, 본선운영 성능평가의 순으로 진행되며 각 단계에 대한 고려사항은 다음과 같다.

- 1) **현차시험 요구사항 수집 및 분석** : 현차시험을 진행하기전 현차시험 성능평가 항목의 선정 및 현차시험 계획을 수립하기 위해 현차시험의 요구사항을 수집하고 분석하여 문서화 하는 작업이 사전에 이루어져야 한다. 요구사항 수집 및 분석 문서는 연구개발계획서 상의 개발목표에 따른 평가항목을 중심으로 효과적인 성능평가가 될 수 있도록 현차평가 인프라 운영기간, 대상차량, 노선, 운영기지 등의 결정을 위한 자료로 활용된다.
- 2) **공인기관 시험** : 공인기관 시험은 개발품에 적용되는 법규 및 규정에 따라 현차시험전 필요로 하는 인증, 검사, 시험에 대하여 사전에 완료를 해야 한다는 것을 의미한다.
- 3) **개발품의 차량적용 및 기능시험** : 본격적인 현차시험을 진행하기 전에 개발품을 차량에 적용(장착)하고 기능시험을 수행하여 현차시험 진행시 예상하지 못한 부정적인 영향이나 문제점 및 안전상의 취약점을 사전에 충분히 찾아 낼 수 있도록 한다.
- 4) **현차 정적 성능평가** : 개발품의 차량적용 및 기능시험이 완료되면 차량이 기동된 정적 상태에서 개발품 및 개발품과 관련된 시스템 및 부품의 기능이 정상적인지를 확인하여 개발품과의 인터페이스상의 문제점을 점검한다.
- 5) **현차 구내시운전 성능평가** : 구내시운전을 위한 별도 선로에서 차량을 주행 및 기능시험하여 개발품의 성능을 평가한다.
- 6) **현차 본선시운전 성능평가** : 구내시운전 성능평가가 완료되면 본선에서 정해진 시운전 노선에 따라 본선시운전을 시행하여 성능을 평가한다. 본선시운전은 발생 가능한 여러 상황에 대한 대비 및 안전확보를 위해 관련 기관 및 부서와 충분히 협의 후 시행한다. 구내시운전 및 본선시운전 기간은 관련 법령 및 테스트 베드 운영기관의 내규에 따라 결정한다.
- 7) **보완작업** : 구내시운전 및 본선시운전시

발견된 여러 문제점 및 보완사항에 대해 본선 투입전 보완작업을 완료한다.

- 8) **본선운영 성능평가** : 본선시운전 및 보완작업이 완료되면 최종적으로 본선운행을 통한 성능평가를 시행한다. 본선운영 성능평가는 결과 데이터를 수집하고 정기적으로 분석하여 개발품의 신뢰성 분석을 위한 자료로 활용한다.

3. 결론

도시철도 차량은 빈번한 운행과 대량 수송성, 정시운행성, 사고 및 고장 발생시 동일노선에 운행중인 타 차량 및 승객의 안전에 대한 영향이 타 철도 교통수단에 비해 크기 때문에 도시철도 차량에 적용되는 부품이나 시스템의 성능 및 안전성을 파악하는 것은 무엇보다 중요하다.

본 논문에서는 도시철도 차량에 적용되는 연구개발 부품에 대한 성능평가를 위한 현차시험에 있어 사전 준비 및 고려 사항, 안전관리 및 운영 절차등을 종합한 현차시험 운영 프레임웍을 제시하였다.

본 논문에서 제시된 현차시험 운영 프레임웍은 일반적인 도시철도의 특성을 반영하여 개발품의 현차시험을 위해 제시된 것이다. 따라서 본 프레임웍의 적용에 있어서는 개발품의 성격과 목적, 현차시험을 위한 테스트베드 운영기관 및 개발주체의 상황에 따라 적합하게 다루어져야 할 것이다.

본 연구를 통해 도시철도차량에 적용되는 연구개발 결과물의 성능평가에 있어 성능평가 계획 수립, 시험차량과 시험노선 등 시험 인프라의 선정과 구축 및 운영, 현차시험 안전관리 등 현차시험 전반에 시사점을 제시하고자 하였다.

향후에는 본 논문에서 논의한 개발품의 현차시험을 통한 성능 평가에 있어 효과적인 평가와 검증이 이루어 질 수 있도록 고려 사항과 요구조건에 대한 보다 현실적이고 세부적인 연구가 지속 되어야 할 것이다.

후 기

본 논문은 국토교통부 철도기술 연구사업 “철도차량 부품호환 및 표준모듈 개발” 3세부 “철도차량 부품 및 모듈 적합성 검증 기술연구” 과제에 의해 수행 되었습니다.

참고문헌

- [1] 김대상.(2011). 철도종합시험선로 구축의 전략적 방향성. 철도저널, 14(4), 27-31.
- [2] 김영규, 박세영, 송정훈, 안천현, & 이한민.(2010). 차세대 전동차 대불선 시운전 시 유지보수방안 연구. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 2215-2222.
- [3] 김윤미, 최경진, & 조연옥.(2008). 전산지원도구를 이용한 철도안전 성능평가 시험설비 구축 사업 관리방안 연구. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 1492-1497.
- [4] 김태욱, 이희업, & 최원일.(2011). 철도종합시험선로 구축 필요성 및 추진 기본전략. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 2107-2114.
- [5] 남성원 (2016). 철도차량 형식승인 제도 적용방안. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 1106-1110.
- [6] 김연수, 박성혁, & 윤성철.(2013). 철도 형식승인을 위한 기술기준 체계의 제안. 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집, 1379-1380.
- [7] 서경수, 김영규, 김홍봉, 박세영, 김영배, 강우철, & 김태인.(2016). 철도차량 내부장치간 무선연계 및 배선절감 기술 성능평가를 위한 시험 인프라 구축과 운영방안의 수립. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 19-25.
- [8] 서경수, 김영규, 노제택, & 강지성.(2017). 도시철도차량 표준화 개발품 적합성 검증을 위한 현차시험 방안 연구. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 87-90.

- [9] 서보성, 이규석, 오현석, 윤병동 (2015). 철도차량 제동장치의 주요 부품 고장진단을 위한 테스트베드 구축. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 162-165.
- [10] 이수길, 한성호, 구동희, 송용수 (2003). 전동차 차량 네트워크 성능평가기술 연구. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 659-665.
- [11] 온정근 (2012). 시스템엔지니어링 프로세스에 한 철도차량성능시험 자료 분석. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 896-901.
- [12] 엄기영, 김주용, 최찬용, & 윤정훈. (2012). 고속철도 인프라시스템 성능평가를 위한 테스트베드 구축. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 1066-1072.
- [13] 엄기영, 이지하, 윤희택, 박영곤, & 윤장호. (2013). 호남고속철도 테스트베드 실행 계획. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 1366-1371.
- [14] 윤학선, 김도원, 정상국, 김채덕, 이영수, & 최진식. (2013). 도시철도용 한국형 무선기반 열차제어시스템 성능평가. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 33-39.
- [15] 진우정, 최진석, & 최은혜. (2015). 철도종합시험선로의 성공적인 이용을 위한 조건 연구. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 1163-1167.
- [16] 정종덕, 이안호, & 한석윤. (2000). 경량전철 시험선 구축에 관한 연구. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 447-454.
- [17] 정흥채, 엄기영, 김석원, 서정원, 신종한 (2002). 철도시스템 시운전 시험 평가 항목 비교 연구. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 232-237.
- [18] 최권희, 송중호, 최규형, & 황현철. (2010). 페트리 넷를 이용한 경량전철시험선 선로의 모형화. 한국철도학회 논문집, 13(6), 570-576.
- [19] 최요철, 박영원, & 왕종배. (2006). 모델기반 시스템엔지니어링 접근을 통한 고속철도 성능 시험 및 안전기준요구사항 관리체계 구축에 관한 연구. 한국철도학회논문집, (3), 330-334.
- [20] 최요철, 이재천, 조연옥, 김상암, & 윤혁진. (2009). 국가연구개발프로젝트의 성과물 검증 프로세스 개발에 관한 연구. 한국철도학회 논문집, 12(3), 382-387.